

УДК 620.1.08

А. В. Дорожко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)**ДАТЧИК ПРОГИБА С ЗАЩИТОЙ ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ**

В статье рассмотрена конструкция датчика для измерения прогиба образца при испытаниях на изгиб. Датчик представляет собой плоскую раму, образованную четырьмя стержнями. Один из стержней (шток), является подвижным, другой представляет собой тензобалку и предназначен для преобразования ее деформации в электрический сигнал. При разрушении образца или другом неконтролируемом перемещении штока происходит размыкание соединения штока с тензобалкой. В результате этого датчик не получает повреждения. Для дальнейшего использования прибора необходимо установить шток в исходное положение. Получены расчетные зависимости для определения размеров стержней датчика при заданном диапазоне измерения.

This article examines the construction of sensor for measuring the sagging. It is the frame, which consists of four rods. One of the rods (stock) is mobile and is found in the contact with the model. Another rod (beam) is the elastic element, whose deformations are measured with the aid of the strain gage resistors. Remaining two rods lock the kinematics chain, transferring the measured displacement from the stock to the beam. The special feature of sensor is protection from damage, if model will be destroyed or will occur the uncontrollable motion of stock. For this connection of stock and beam it is executed by mobile. As a result this during the uncontrollable motion of stock, which exceeds the range of the measurement of sensor, connection is uncoupled without the destruction. The connection between the displacements of stock and free end of the beam is examined. The relationships between the sizes of rods, which ensure the correct work of sensor, are obtained on this base.

Введение. В экспериментальной практике прогиб измеряют при решении двух типов задач. Первой задачей является натурная тензометрия сооружений и конструкций с целью оценки их прочности и жесткости. Вторая задача – это измерение деформаций образцов в испытательных машинах и приспособлениях с целью определения характеристик жесткости непосредственно самого конструкционного материала.

Основная часть. При исследовании механических свойств материалов широко распространены испытания образцов на изгиб. Это обусловлено сравнительной простотой как изготовления образцов, так и самой процедуры испытания. Образцы имеют простую и технологичную форму прямой призмы, что обеспечивает невысокую стоимость их изготовления. Например, для испытания на растяжение используются образцы, имеющие форму двойной лопатки, что требует дополнительных технологических операций при их изготовлении.

В процессе испытания необходимо измерять деформацию образца и силу его сопротивления этой деформации. Измерение силы производится основным или дополнительным динамометром испытательной машины без каких-либо особенностей.

Среди множества различных методов измерения деформаций образца наиболее распространены два. Первый – это измерение прогиба в заданном сечении образца, второй – непосредственное измерение деформаций его внешних слоев [1].

В первом случае используется датчик прогиба, который устанавливается на основании испытательной машины обычно под образцом. Он измеряет перемещение всего сечения, под которым установлен.

Во втором случае используются различные типы специальных приборов, называемых тензометрами. Это приборы, которые крепятся на образце и служат для измерения линейных деформаций в месте установки. Наиболее распространенными для этих целей являются фольговые тензорезисторы, которые наклеиваются на образец и представляют с ним одно целое.

Выбор метода измерения деформации зависит от многих факторов. Основными являются вид структуры материала и экономические соображения.

Если материал образца обладает высокой степенью анизотропии, то использование наклеиваемых тензорезисторов может привести к существенной погрешности в измерении, вызванной поперечной чувствительностью датчика [2]. Кроме того, для композиционных материалов, особенно со слоистой структурой, результат измерения может зависеть от места наклейки тензорезистора [1]. Следует отметить, что градуировке подвергается непосредственно тот датчик прогиба, который используется при измерениях. При использовании тензорезисторов такая возможность отсутствует, поэтому градуируют контрольный экземпляр из партии подобных и его параметры приписывают всем остальным, что снижает достоверность эксперимента.

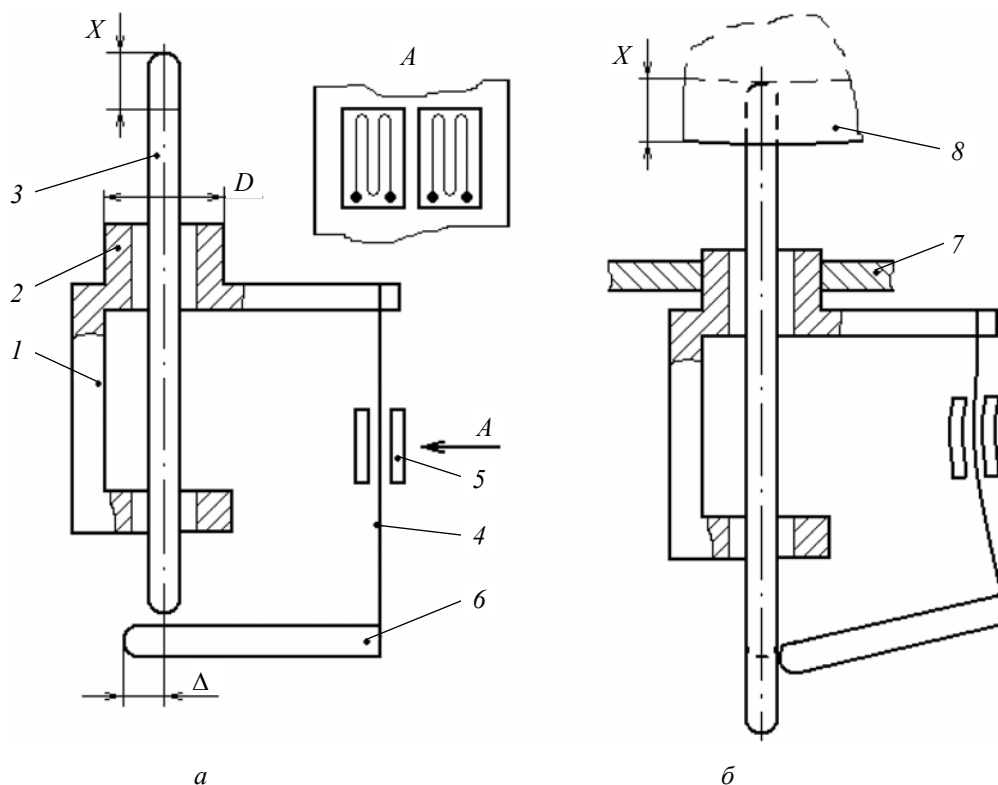


Рис. 1. Принципиальная схема датчика прогиба

Из изложенного следует, что использование датчиков прогиба является предпочтительным. Это обусловлено их большей точностью и тем, что, в отличие от тензорезисторов, которые являются одноразовыми, датчики прогиба могут использоваться многократно, что более целесообразно и с экономической точки зрения.

Анализ конструкций известных датчиков прогиба показал наличие существенного недостатка, который заключается в том, что при разрушении образца весьма вероятно повреждение штока датчика или элементов, измеряющих перемещения [3].

На рис. 1, а показан общий вид прибора, свободного от указанного недостатка.

Он состоит из корпуса 1, снабженного цилиндрическим хвостовиком 2. В корпусе 1 имеется два отверстия, в которых установлены направляющие (условно не показаны) для измерительного штока 3. Конструктивно каждая направляющая представляет собой три миниатюрных шарикоподшипника, установленных под углом 120 градусов в плоскости, перпендикулярной оси штока 3, и контактирующих внешними обоймами с его поверхностью. Это обеспечивает минимальное трение и практическое отсутствие люфта в направляющих. Концы штока 3 закруглены и имеют форму полусфер.

Тензобалка 4 с наклеенными на нее четырьмя тензорезисторами 5 крепится одним из концов на

корпусе 1. Тензорезисторы соединены в полностью активный измерительный мост Уитстона, который подключается к стабилизированному источнику питания и вторичному измерительному прибору, например, к вольтметру.

Рычаг 6, прикрепленный к противоположному концу тензобалки 4, замыкает кинематическую цепь: корпус 1 – шток 3 – тензобалка 4, образуя высшую кинематическую пару шток 3 – рычаг 6. При этом свободный конец рычага 6 имеет форму боковой поверхности половины цилиндра с диаметром равным толщине рычага.

Прибор крепят в посадочном отверстии приспособления для испытаний образцов на изгиб 7 при помощи хвостовика 2. При этом шток 3 контактирует с нижней поверхностью образца 8 (рис. 1, б).

Работает прибор следующим образом. Когда образец изгибается, его нижняя поверхность перемещает шток 3 на расстояние x , равное прогибу. Это перемещение через высшую кинематическую пару передается к рычагу 6, который изгибает прикрепленную к нему тензобалку 4. Вместе с ней деформируются тензорезисторы 5. Причем их деформация пропорциональна перемещению штока 3, а значит, и выходное напряжение на измерительной диагонали моста Уитстона u пропорционально измеряемому прогибу образца x .

Для вычисления действительного значения прогиба x по измеренному напряжению u

необходимо использовать градуировочную характеристику прибора $x = f(y)$ (функция преобразования). Ее получают перед испытанием. Для этого прибор закрепляют в специальном градуировочном приспособлении и задают перемещение штоку 3. При этом одновременно измеряют перемещение x и выходное напряжение y образцовыми приборами. На основании регрессионного анализа этих данных получают градуировочную характеристику прибора $x = f(y)$.

Если в процессе испытания образец разрушится, то шток 3 получит значительное перемещение. Однако это не приведет к поломке прибора (разрушению тензорезисторов), поскольку высшая кинематическая пара шток 3 – рычаг 6 разъединится и шток 3 переместится на нужное расстояние, уже не изгибая тензобалку 4 (см. рис. 1, б). Для последующего использования прибора следует установить шток 3 в рабочее положение, отгибая рычаг 6.

Очевидно, что для обеспечения установленного диапазона измерения x величина вылета конца рычага 6 за ось штока 3 – Δ должна иметь определенное значение. Рассмотрим методику его определения.

Расчетная схема прибора показана на рис. 2, где он представлен в виде плоской рамы $ABCD$.

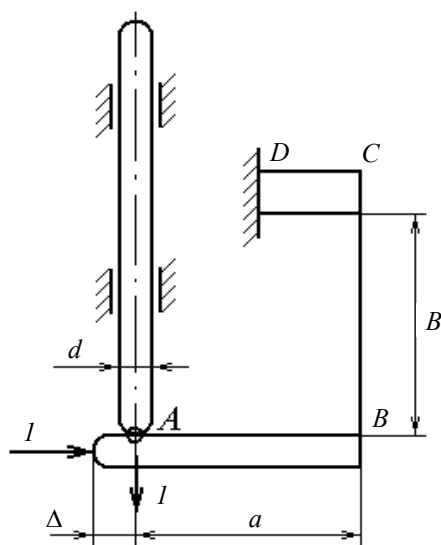


Рис. 2. Расчетная схема прибора

Жесткость участка BC , образованного тензобалкой 4, принята равной EI , участки AB и DC приняты абсолютно жесткими. Исходя из

этого, все перемещения в системе происходят вследствие деформаций участка BC .

Для определения связи между вертикальным и горизонтальным перемещениями точки A , принадлежащей рычагу 6, воспользуемся интегралом Мора. С этой целью прикладываем к рычагу вертикальную и горизонтальную единичные силы I . Тогда вертикальное x и горизонтальное Δ перемещения будут равны:

$$x = \frac{1}{EI} \int_0^b M_1^V M_1^V dx = \frac{a^2 b}{EI};$$

$$\Delta = \frac{1}{EI} \int_0^b M_1^V M_1^H dx = \frac{ab^2}{2EI}.$$

Отсюда получаем соотношение $\Delta = x \frac{b}{2a}$

между измеряемым перемещением x и величиной вылета конца рычага 6 за ось штока 3 Δ .

Закключение. В результате проведенного анализа методики измерения деформаций образцов при изгибе установлено, что предпочтительным является использование выносных датчиков прогиба. При этом их конструкция должна обеспечивать сохранность датчика в случае возникновения запредельного перемещения, например, при разрушении образца.

Для выполнения указанных требований разработана конструкция датчика с защитой от повреждения, получены соотношения для расчета размеров элементов датчика прогиба, обеспечивающие требуемый диапазон измерения и сохранность датчика при его превышении.

Литература

1. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. Тарнопольский, Ю. М. Методы статических испытаний армированных пластиков / Ю. М. Тарнопольский, Т. Я. Кинцис. – М.: Химия, 1975. – 264 с.
3. Новицкий, П. В. Электрические измерения неэлектрических величин / П. В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.

Поступила 06.03.2012